

■ 論 文 ■

FTMS 자료를 활용한 고속도로 Corridor 동적 분석

A Dynamic Traffic Analysis Model for the Korean Expressway System using FTMS

유 정 훈

(아주대학교 환경건설교통공학부 교수)

이 무 영

(아주대학교 교통연구센터 연구원)

이 승 준

(한국도로공사 도로교통연구원 책임연구원)

성 지 흥

(아주대학교 교통연구센터 연구원)

목 차

- I. 서론
 - 1. 연구의 배경 및 목적
 - 2. 관련문헌고찰
- II. 방법론
 - 1. Subarea 분석모형
 - 2. Time-dependent Subarea O-D 구축
- III. 모형실험
 - 1. 모형구축
 - 2. 모형 적용 및 결과분석
- IV. 결론
참고문헌

Key Words : 동적분석, Subarea, FTMS 자료, 연산시간, 3차원 Matrix Balancing
Dynamic, Subarea, FTMS Data, Computation Burden, 3-d Matrix Balancing

요 약

첨단교통체계의 기술발전과 교통 분석의 수준이 상세해짐에 따라 동적 교통 분석에 대한 필요성이 증가하고 있다. 기존 정적인 분석이 하루 평균 개념의 통행특성과 네트워크 상태를 묘사한 반면, 동적 분석에서는 시간흐름에 따른 네트워크의 상태를 분석한다. 본 논문에서는 교통시스템 동적 분석의 필요성을 인식하여, 고속도로망을 대상으로 FTMS 자료를 활용한 분석 방법론을 개발하였다. 개별 차량의 실제 통행기록 자료인 TCS 자료를 이용하여 전국 고속도로망을 대상으로 동적 기종점 통행량을 구축하였으며, 시뮬레이션 연산시간 문제 해결을 위해 분석범위를 설정한 Subarea 분석을 활용하였다. 이를 위해 전국 고속도로망을 대상으로 구축된 시간대별 기종점 통행량을 Subarea 기종점 통행량으로 전환하기 위한 방법론을 개발하였다. 구축된 모형의 적용을 위해 시나리오 분석을 실시하였으며, 이를 통해 각각의 시나리오에 대하여 기존의 단편적인 효과분석과 달리 하루 중 시간대별 교통여건에 따른 네트워크 상태분석을 수행하였다. 본 연구는 동적 교통 분석의 초기 시도라는 점과 실제 기종점 자료인 FTMS 자료를 활용한 분석이라는 점에서 의미를 가지며, 현재 교통 분석의 큰 흐름인 동적 교통 분석의 필요성을 부각시키고자 한다. 향후 고속도로뿐만이 아닌 기타 도로를 포함한 모형 구축이 필요하며, Hybrid 모형 및 프로그램 개발을 통해 궁극적인 목표인 실시간 동적 분석 모형 개발을 위한 연산시간 문제 해결이 필요할 것이다.

Operation of intelligent transport systems technologies in transportation networks and more detailed analysis give rise to necessity of dynamic traffic analysis model. Existing static models describe network state in average. on the contrary, dynamic traffic analysis model can describe the time-dependent network state. In this study, a dynamic traffic model for the expressway system using FTMS data is developed. Time-dependent origin-destination trip tables for nationwide expressway network are constructed using TCS data. Computation complexity is critical issue in modeling nationwide network for dynamic simulation. A subarea analysis model is developed which converts the nationwide O-D trip tables into subarea O-D trip tables. The applicability of the proposed model is tested under various scenario. This study can be viewed as a starting point of developing deployable dynamic traffic analysis model. The proposed model needs to be expanded to include arterial as well without critical computation burden.

1. 서론

1. 연구의 배경 및 목적

교통시스템은 물리적인 공급시설과 시간 흐름에 따라 변화하는 수요 매체의 상호관계에 의해서 시스템의 상태가 변화하는 특성을 가진다. 지금까지 교통시스템의 계획 및 운영을 위한 다양한 분석 시 평균적인 통행자의 행태에 관심을 둔 정적인(Static) 분석이 이루어져왔다. 한편, 국내 자동차 등록대수의 급격한 증가로 인해 교통시스템의 수요와 공급 불균형 문제가 발생하고 있으며, 이러한 상황에서 시간대별 통행량의 집중을 고려한 동적교통관리에 대한 관심이 높아지고 있는 것은 당연한 결과이다(Ran, 1996). 현재 ITS(Intelligent Transport Systems) 기술을 활용한 교통 시스템의 운영은 네트워크 상태의 동적 자료 구축을 가능하게 하며(Mahmassani, 2001), 이를 활용한 교통 시스템 분석 정밀도에 대한 요구 수준은 현재 교통 분석의 한계를 지적함과 동시에 향후 연구방향을 제시하고 있다.

본 연구의 핵심 주제인 동적 교통망 분석은 향후 첨단 교통시스템 시대에 대비하기 위한 핵심 알고리즘으로 활용될 것이며, 동적 통행배정(Dynamic Traffic Assignment) 뿐만 아니라 실시간 교통류 관리, 교통운영, 교통수요관리 등 다양한 교통 분야에 활용될 것이다. 본 연구는 실제 통행 자료를 활용한 동적 분석에 관한 초기 연구라는 점에서 의미를 가지며, 향후 동적 분석 분야에 대한 더욱 활발한 연구가 진행될 것으로 기대된다.

2. 연구내용

교통계획 분야에서는 20년 전부터 기존의 정적인 교통계획 방법론을 토대로 동적 분석방법론의 개발이 진행되고 있으며, 이를 위해 교통계획분야와 교통운영분야의 연구가 공통분야를 넓혀가고 있는 사실은 향후 교통 분야 연구방향의 큰 흐름을 나타내고 있다.

기존의 하루 또는 1시간 개념의 정적 분석의 경우 통행 의사로 생각할 수 있는 기종점 통행량과 네트워크 용량과의 관계에 따른 평균적이고 산술적인 분석으로서 시간흐름과 함께 진행되는 교통류의 흐름에 따른 특성을 반영할 수 없으며, 여러 연구에서 제시된 교차로 지체를 반영할 수 없다는 문제점을 가지고 있다. 또한 현재 교통시스템 효과분석에 사용되는 교통량-지체함수(Volume-delay

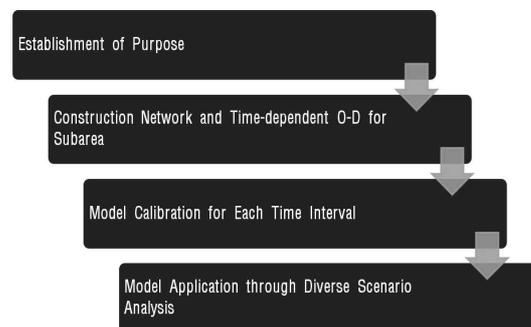
Function)에 따른 통행시간, 속도, 지체는 통행경로 선택을 위한 기준이며, 정확한 의미의 링크 통행시간 및 통행지체로 판단하기에는 문제가 따른다.

본 논문에서는 고속도로 FTMS(Freeway Traffic Management System) 자료를 활용하여 전국 고속도로망에 대한 15분 간격의 동적 기종점 통행량을 구축하였으며, 분석 연산시간 문제를 해결하기 위해 구축된 전국 고속도로망 동적 기종점 통행량을 Subarea 동적 기종점 통행량으로 전환하기 위한 방법론을 개발하였다. 연산시간 측면의 효율성뿐만 아니라 첨단교통체계하의 교통 분석이 전체 네트워크가 아닌 관심지역의 정밀한 분석에 있다는 점 또한 Subarea 분석의 필요성을 증대하는 요인이다.

연구의 분석 범위가 고속도로망인 점을 통해 개개인의 실제 통행 기록 자료인 TCS 자료를 활용함으로써, 교통 분석의 주요 입력 자료인 기종점 통행량의 오차를 줄일 수 있으며 또한, 유료도로인 고속도로 통행자의 경우 경로선택 시 자신의 통행시간을 최소화하려는 심리가 강하며 이는 경로선택 모형의 신뢰성을 높인다고 판단된다.

기종점 통행량 구축은 경부고속도로 '서울~대전' 구간을 대상으로 이루어졌으며, 15분 간격으로 나누어진 시간대별 모형 정산과정을 거쳤다. 기존의 정적 교통모형이 1개 지점에 대하여 1회 정산과정을 통해 모형을 구축하는 반면, 본 연구에서는 1개 지점에 대하여 $(60/15) \times 24 = 96$ 회의 정산 과정을 수행하였다. 또한 구축된 모형의 적용 가능성을 확인하기 위하여 차선 수증대에 따른 용량증대 방안과 교통사고 상황에 따른 시나리오 분석을 통해 시간대별 교통 네트워크 상태 분석을 수행하였다.

본 논문의 3장에서는 고속도로 FTMS(Freeway Traffic Management System) 자료를 활용하여 구축



<그림 1> 연구수행절차

된 동적 기종점 통행량을 Subarea 기종점 통행량으로 전환하기 위한 방법론을 소개하고 있다. 4장에서 이를 활용한 시나리오 분석을 통해 모형의 적용성을 검증하였으며, 향후 교통 분석의 큰 흐름인 동적 교통 분석의 필요성을 제시하고자 한다. 5장에서는 본 연구의 결과와 향후 연구방향을 제시하였다.

II. 관련문헌 고찰

과거 교통시스템의 계획을 위한 분석을 위해 평균적인 통행자의 행태라고 할 수 있는 정적인(Static) 링크 상태 정보를 활용한 분석이 이루어져왔다. ITS(Intelligent Transportation System) 기술을 활용한 교통 네트워크의 운영은 네트워크 상태의 동적 자료 구축을 가능하게 하고 있으며, 이러한 정보를 활용한 실시간 교통시스템의 운영을 목표로 하고 있다(Mahmassani, 2001).

동적 교통 분석을 위하여 크게 분석적 기법과 시물레이션 기법 2가지 방향으로 연구가 진행되어 왔다. 분석적 기법은 최적 조건의 모형화가 단순하며 다양한 시나리오에 따른 시스템의 변화를 분석할 수 있는 장점이 있으나, 기본 분석의 한계점인 평균적인 운전자의 행태를 기반으로 모형을 구성하기 때문에 분석의 수준이 거시적이라는 단점이 존재한다. 반면, 시물레이션 기법은 개별 운전자의 행태를 모형화할 수 있다는 장점이 있으나, 변수들이 과도하게 많은 점 및 시물레이션 연산시간 문제 등을 가지고 있다(강진구, 2004).

분석적 기법 중 변동부등식을 활용한 접근법은 동적 배분 문제에 유용한 것으로 알려져 있다. Friesz(1993)는 Dynamic User Equilibrium (DUE) 문제를 변동부등식으로 변화시켜 제시하였으며, 링크기반 변동부등 모형은 Ran(1996) 등에 의해 개발되었다.

동적 모형의 제약조건인 네트워크 모형은 교통류 행태를 시간에 따라 묘사하도록 정밀하게 구성해야 한다. 네트워크의 혼잡을 묘사하기 위해 링크의 통행시간을 상수적 주행시간과 대기행렬 지체로 구성되는 점대기 행렬 모형(Kuwahara, 1997)이 최근 연구되어 왔다. 점대기행렬 모형 중 차량을 병목구간이나 신호교차로의 바로 앞에서 쌓아 표현하는 수직형 교통망 부하모형은 전통적 대기행렬 모형을 따라 FIFO조건, 교통망 전파 조건(Flow Propagation Constraint)을 쉽게 만족시키거나 차량의 물리적 특성이며 교통류 혼잡의 중요 요소인 앞막힘 현상(Spill-back)을 구현하지 못하는 단점이 있는

것으로 알려져 있다. Adamo(199)는 이를 개선하여 차량의 물리적 위치를 고려하여 수평으로 표현하는 수평형 교통망 부하모형을 연구하였다. 하지만 그는 대기행렬 이론 모형의 불완전함의 근거로 대기행렬 형성에 따른 용량 저하 같은 동적 특성을 설명할 수 없음을 제시하였다. 한편, 이와 같이 교통류의 동적 특성을 현실과 가깝게 묘사하는데 초점을 맞춘 모형들을 동적 네트워크 부하(Dynamic Network Loading)모형이라 부른다. 앞서 설명한 단일 링크를 주행구간과 대기행렬 구간으로 분리하여 링크의 동적 상태를 주행과 대기로 간단히 묘사하는 방법은 교통류의 다양한 동적 특성을 묘사하는데 한계점이 있으며, 이를 보완하기 위해 Cremer (1999)는 Moving Cell 기반의 시물레이션 모형을 개발하였다. 정적 모형의 경우 최단경로 선정을 위하여 시간흐름에 관계없이 링크의 상태를 고정된 반면, 동적 모형에서는 시간간격에 따라 통행시간이 변화하며, 이를 기초로 통행자의 경로를 설정한다. 시간종속적인 최단경로 선정 알고리즘에 대한 연구는 Cooke and Halsey(1996)에 의하여 본격적으로 시작되었다.

동적 통행배정의 경우, 경로선택 문제뿐만 아니라 각 링크의 대기행렬 길이, 동적 통행시간, 유출/입 교통량 등의 동적 변화를 제약 조건으로 갖는다. 이를 위해 목적함수식을 제약하는 제약식을 추가할 경우, 목적함수 형태가 비볼록 형태가 될 수 있어 수학적 최적화 기법을 통한 최적해 도출이 어렵게 된다(Carey, 1992). 볼록법칙이 성립되지 않는 동적문제 해결을 위한 다양한 연구들이 진행되어 왔으며, MSA(Method of Successive Average) 알고리즘은 탐색크기(Move Size)가 기 결정된 휴리스틱한 알고리즘이다.

운전자의 동적 경로 선택을 위해 경로기반 통행배정에 적합한 시물레이션 부하기법(Simulation Loading Algorithm)이 제시되었으며, Mahmassani (2001)는 동적 통행배정을 위하여 Simulation- Assignment 방법론을 개발하였다. 시간종속적인 기종점 통행량에 의해 발생된 차량은 4가지로 규명된 방법에 따라 통행 배정되며, 이때 다음 통행배정을 위한 시간대별 통행패턴은 시물레이션 결과에 의해 생성된다.

최근 Xuesong(2007)은 도시부에서 다차종을 고려한 동적 통행 배정 모형을 확률 효율 모형(Stochastic Utility Maximization)에 기초하여 개발하였다. 한편, 화물운송 시 화물적재와 운반시의 지체를 고려한 모형이 Mahmassani(2007)에 의해 개발되었다.

III. 방법론

1. 동적 분석 모형

동적 교통 분석을 위한 통행배정(Traffic Assignment) 과정은 크게 경로선택과정과 동적부하과정으로 나누어진다. 기존의 정적 통행배정 과정에서 최단경로 선정을 위해 링크의 통행시간을 평균개념의 고정값으로 가정한 반면, 동적 통행배정의 경로선택 알고리즘의 경우, 시간대별 교통량에 따른 링크 통행시간의 변화를 고려하여 최단경로를 선정한다(Time-dependent Shortest Path Algorithm). 또한, 기존의 정적 방법론에서 각 기종점 통행량의 교통 네트워크 이용 패턴을 묘사하기 위해서 차량의 이동을 고려하지 않은 수학적 산술값에 기초한 사용자 균형 (User Equilibrium) 원칙에 따른 네트워크 부하과정을 적용해왔다면, 동적 방법론에서는 기종점 통행량의 각 시간대 위치에 의한 네트워크 부하과정 묘사를 위하여 시뮬레이션 부하기법이라는 동적부하과정을 적용한다.

본 논문에서는 교통 네트워크의 동적 상태 분석을 위하여 동적 최단경로 선정 알고리즘 활용한 통행배정 과정을 대신하여 15분 간격의 시간대별 확률적 경로선택 알고리즘(Stochastic Shortest Path Algorithm)을 활용한 기종점 통행량의 교통 미시적 시뮬레이션(Micro-simulation)을 수행하였으며, 본 연구의 대상이 고속도로인 점을 감안하여 15분 이내에 네트워크 상태 변화에 따른 경로 선택과정이 크게 변하지 않을 것이라는 가정에 기초한다. 또한, 차량추종이론(Car-following Theory)에 기초한 교통류 묘사를 수행하는 시뮬레이션을 수행함으로써, 각 개별차량의 시간대별 이동에 따른 네트워크 부하를 반영할 수 있다.

2. Subarea 분석 모형

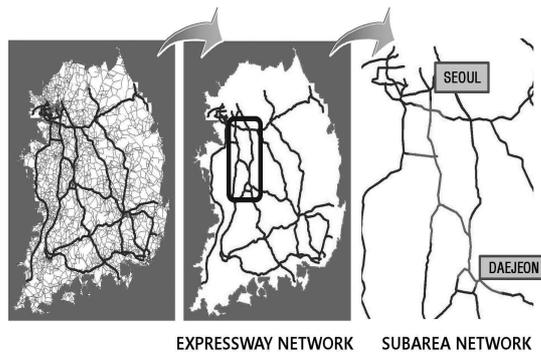
동적 기종점 통행량은 한국도로공사 FTMS 자료를 활용하여 구축하였으며, 입력자료 중의 하나인 네트워크는 한국교통연구원 국가교통DB(KTDB ; Korea Transportation Database)에서 제공하는 고속도로 네트워크를 보완하여 사용하였다

동적 기종점 통행량은 모형에서 설정한 Simulation 시간 간격마다 출발 영업소와 출발시점에 따라 네트워크에 부하되는 과정을 반복한다. 본 연구에서는 전국 고속도로를

대상으로 Micro-simulation을 위한 네트워크를 구축하였으며, 이를 위해 상용 프로그램인 Trans-Modeler 1.5 버전을 활용하였다. 네트워크는 2,219개의 링크와 1,958개의 노드로 구성되어 있다. 시뮬레이션을 위한 하루 총 통행량은 1,939,393(대/일)으로써, 전체 네트워크를 대상으로 하루 시뮬레이션을 위한 시간은 16시간 이상이 소요되어 분석을 위한 모델의 연산시간 가능 범위를 넘어선다고 판단된다. 본 연구에서는 분석 가능한 시뮬레이션 시간을 고려하여 경부선 '서울-대전' 구간을 대상으로 Subarea 네트워크를 구축하였다.

1) Subarea 네트워크

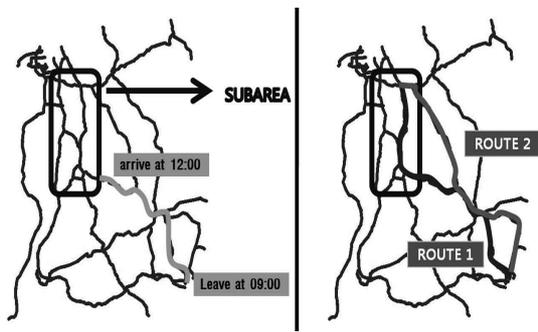
본 논문에서 설정한 분석구간은 경부선 '서울-대전' 구간으로 설정하였으며, Subarea 지역으로의 유/출입 교통량의 반영을 위하여 경부선 '서울~대전' 구간에 접속되는 Link를 포함한다. 영동선 '동수원-마성' 구간과 충주평택선 '송탄-남안성' 구간, 천안논산선 '천안JCT-남천안IC' 구간, 중부선 '남이JCT-서청주IC' 구간, 당진상주선 '청원JCT-문의IC' 구간, 호남지선 '회덕JCT-북대전IC' 구간을 포함하였으며, 교통류 흐름의 주요 지점인 네트워크 분/합류부 정밀한 표현을 위하여 전자지도, 문헌자료를 활용하였다.



<그림 2> Subarea Network

<표 1> Subarea 교통 분석 존

1	서울	8	청주	15	남안성	22	중부선
2	수원	9	청원	16	서청주	23	천안논산
3	기흥	10	신탄진	17	문의	24	평택충주
4	오산	11	대전	18	북대전	25	영동(EB)
5	안성	12	동수원	19	경부	26	영동(WB)
6	천안	13	송탄	20	호남지선		
7	목천	14	서안성	21	청원상주		



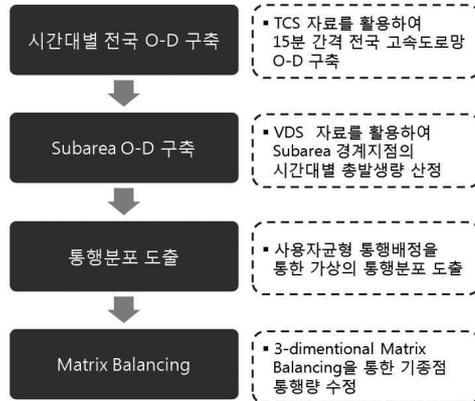
<그림 3> Subarea O-D 전환으로 인한 문제

2) Subarea O-D

전국 고속도로를 대상으로 구축된 기중점 통행량을 Subarea 기중점 통행량으로 변환할 경우 가상의 존으로 설정한 Subarea Network 경계지점의 교통량 산정을 위한 문제는 2가지로 생각할 수 있다. 첫째, 구축된 전국 고속도로망 TCS O-D는 차량의 출발시간을 기준으로 하고 있으며, Subarea 이외 지역에서의 통행을 가상 존인 Subarea 경계 지점에서의 통행으로의 전환 시각 영업소를 출발한 교통량이 Subarea 네트워크에 도달하기까지 소요되는 통행시간을 고려하여야 한다. 둘째, 현재 TCS 통행량을 통해 각 기중점 통행량은 알 수 있지만 각 기중점 통행량의 경로배분을 알 수 없으며, 이에 따라 외부존에서 출발한 통행의 Subarea 도착 지점이 달라질 수 있다는 문제가 발생한다. 본 논문에서는 VDS(Vehicle Detecting System) 교통량을 통한 가상존의 총발생량과 총유입량 산정 후 정적 사용자 균형 통행배정을 통한 가상의 통행분포 비율을 활용하여 위 문제를 해결하였다.

3. Time-dependent O-D 구축 방법론

본 연구에서는 전체 네트워크를 대상으로 시간의 흐름을 고려한 동적 기중점 통행량을 구축하기 위하여 TCS 자료를 활용하였으며, 이를 Subarea O-D로 전환하기 위한 방법론을 개발하였다. 전국 네트워크를 대상으로 구축한 동적 기중점 통행량을 Subarea 기중점 통행량으로 변환하기 위한 과정은 <그림 4>와 같이 4단계로 나타낼 수 있다.



<그림 4> Subarea O-D 구축과정

1) 전국 고속도로망 동적 O-D 구축(TCS 활용)

한국도로공사 폐쇄식 영업소 248개를 대상으로 동적 기중점 통행량을 구축하였다. 본 연구의 대상이 고속도로인 점을 감안하여, 15분 이내에 네트워크 상태 변화는 크지 않을 것으로 판단하였으며, $(60/15) \times 24 = 96$ 개의 기중점 통행량이 구축되었다.

2) Subarea O-D로 전환(VDS 자료 활용)

Subarea 네트워크의 기중점 통행량 Table은 <그림 5>와 같으며, [1]로 표시된 네트워크의 내부 존간의 통행량과 내부영업소에서의 시간대별 유/출입 교통량의 총량은 TCS 자료로부터 직접 구축이 가능하다.

Subarea 네트워크 경계지점인 (19 ~ 26)존([2]지역)의 시간대별 총발생량과 총유입량 산정을 위해서는 VDS 자료를 이용하였다. (19 ~ 26)존의 시간대별 총

	Inner centroids of subarea																		Imaginary centroids							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="font-size: 2em; font-weight: bold;">TCS[1]</div> <div style="font-size: 1.5em; font-weight: bold;">DISTRIBUTION[3]</div> </div>																									
2																										
3																										
4																										
5																										
6																										
7																										
8																										
9																										
10																										
11																										
12																										
13																										
14																										
15																										
16																										
17																										
18																										
19																										
20																										
21																										
22																										
23																										
24																										
25																										
26																										
																			V D S [2]							
																			VDS[2]							

<그림 5> Subarea O-D Trip Matrix

발생량은 VDS 자료로부터 직접 생성이 가능하다. 반면, 시간대별 총 유입량의 경우 구축하는 기종점 통행량에 출발기준인 반면, 검지되는 VDS 교통량은 도착 기준이라는 문제가 발생한다. 이를 위해 본 연구에서는 서울 TG에서 천안IC까지의 통행시간이 1시간 미만인 점을 고려하여 t시점의 (19 ~ 26)존의 총 유입량이 (t ~ t+2)시점까지의 (19 ~ 26)존의 VDS 교통량 총량의 크기에 비례해서 유입된다고 가정하였다.

$$d_j^t = (D^t - \sum_{i=1}^{18} d_j^t) * \left(\frac{\sum_{n=t}^{t+2} V_i^n}{\sum_{i=19}^{26} \sum_{n=t}^{t+2} V_i^n} \right)$$

여기서, d_i^t : i 영업소의 t 시점에서의 유입교통량

D^t : t 시점의 Subarea 총교통량

V_i^n : n 시점의 i 지점 VDS 교통량

3) 통행분포 비율도출

가상의 존으로 설정한 Subarea 네트워크 경계지점간의 통행과 경계지점과 Subarea 내부 존간의 통행은 FTMS 자료로부터 직접 생성이 불가능하다([3] 지역). 이에 대한 해결을 위해서는 각 존간의 통행분포 비율이 필요하다. 즉, 각 존의 총발생량/도착량은 시간대별 VDS 자료로부터 생성할 수 있으므로, 통행분포 비율을 도출하여 각 존간의 통행량을 산정한다. 이때 Subarea 내부존의 경우, Subarea 내부존간의 통행은 시간대별 TCS 참값을 활용한다.

가상인 존인 Subarea 경계지점에서의 총발생량은 시간대별 VDS 교통량이다. 이러한 통행은 Subarea 경계지점에서 발생한 통행이 아닌 Subarea 외부지역에서 발생한 통행이며, 통행분포 도출시 가상의 존인 Subarea 경계지점과 내부존간의 통행특성이 아닌 Subarea 외부 존 즉, 실제 통행이 발생한 존과 내부존간의 통행특성을 반영하여 도출하여야 한다. 본 연구에서는 고속도로망의 경우 시간에 따라 각 기종점간의 통행량은 변하지만 출발지를 떠난 차량이 목적지에 도착하기 위해 선택하는 경로의 비율은 시간의 흐름에 따라 크게 변하지 않을 것으로 판단하였으며, '통행자는 자신의 통행시간을 최소화하는 통행경로를 선택 한다'는 사용자균형 통행배정기법을 이용하여 도출한 가상의 통행패턴을 적용하였다. Subarea 네트워크 경계 지점을 Counting Station으로 설정한

Subarea O-D를 생성하였으며, 이를 통해 Counting Station으로 설정된 Subarea 네트워크 경계 지점을 지나는 교통량의 통행분포 비율을 도출할 수 있다.

4) Matrix Balancing

구축한 기종점 통행량의 유/출입 통행량 제약조건을 만족하기 위하여 Matrix Balancing을 수행하게 된다. 이때 TCS 자료로부터 알 수 있는 Subarea 네트워크 내부 존간의 통행량을 고정하기 위하여 3-dimensional Balancing을 활용하였다. Balancing 모형은 다음의 방정식으로 나타낼 수 있다.

$$g_{pq} = \begin{cases} c_{pq} & \text{if } p < 19 \text{ and } q < 19 \\ \alpha_p \beta_q c_{pq} & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

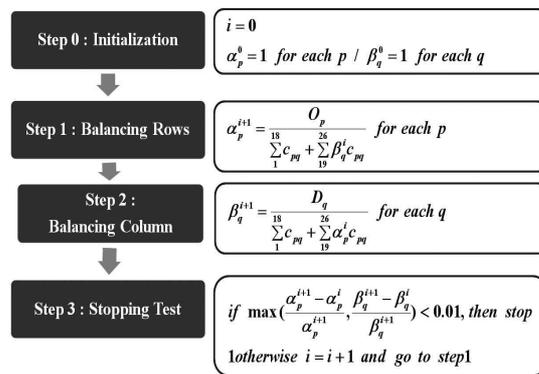
for each O-D pair (p, q)

$$\sum_{q \in Q} g_{pq} = O_p \text{ for each origin } p \quad (2)$$

$$\sum_{p \in P} g_{pq} = D_q \text{ for each destination } q \quad (3)$$

$$g_{pq} \geq 0 \text{ for each O-D pair } (p, q) \quad (4)$$

이는, 각각의 기종점 p, q에 대하여 총량보전 제약인 (2), (3)조건을 만족하는 최적의 α_p, β_q 를 찾는 과정이며 이때, $p < 19$ and $q < 19$ 인 g_{pq} 즉, Subarea 네트워크 내부 영업소간의 통행은 TCS 참값(c_{pq})을 계속 유지한다. α 와 β 를 구하기 위한 알고리즘은 Step 1, 2의 방정식의 결과 값이 Step3의 수렴조건 만족 여부를 확인하는 과정이며 <그림 6>과 같다.



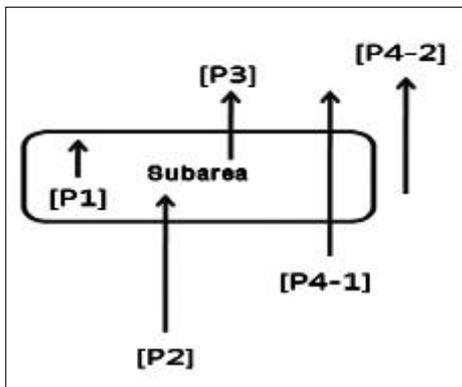
<그림 6> Balancing Algorithm

IV. 모형실험

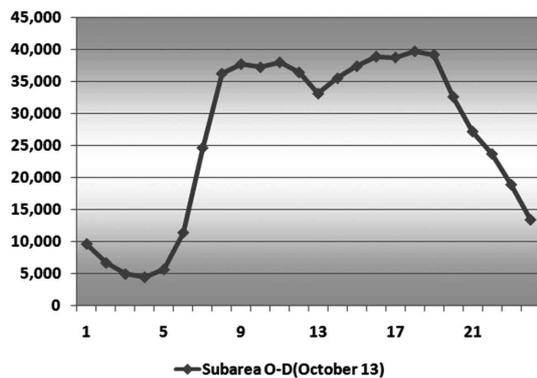
1. 모형 구축

본 연구에서는 동적 분석을 위해 Micro-simulation 네트워크를 구축하였으며, 상용 프로그램인 ‘Transmodeller’를 활용하였다. 경부선 ‘서울-대전’ Corridor에 대하여 구축된 네트워크는 341개의 링크와 304개의 노드로 구성되어 있으며, 분석범위 내의 영업소 18개와 Subarea 경계지점 8개를 존으로 설정하였다.

15분 간격의 동적 O-D 구축을 위하여 2008년 10월 13일의 TCS와 VDS 자료를 활용하였다. 전국 고속도로 통행량은 1,939,393(대)이며, 이는 <그림 7>과 같이 4가지 경우로 나눌 수 있다 : 내부-내부(P1), 외부-내부(P2), 내부-외부(P3), 외부-외부(P4). Subarea 네트워크 외부존에서 외부존으로의 통행의 경우 그림에서 보는 바와 같이 Subarea 네트워크 밖에서 이루어지는 통행과 Subarea 네트워크를 관통하는 경우로 나눌 수 있다.



<그림 7> Subarea를 고려한 4가지 통행형태



<그림 8> 10월 13일 Subarea O-D

<표 2> Subarea 시간대별 교통량 (단위 : 대)

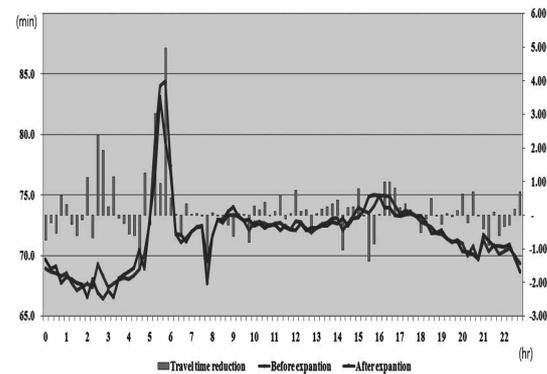
시간	교통량	비율	시간	교통량	비율
1	9,533	1.5%	13	33,055	5.2%
2	6,562	1.0%	14	35,465	5.6%
3	4,817	0.8%	15	37,340	5.9%
4	4,313	0.7%	16	38,848	6.2%
5	5,535	0.9%	17	38,720	6.1%
6	11,295	1.8%	18	39,675	6.3%
7	24,565	3.9%	19	39,155	6.2%
8	36,193	5.7%	20	32,568	5.2%
9	37,683	6.0%	21	27,129	4.3%
10	37,187	5.9%	22	23,621	3.8%
11	37,958	6.0%	23	18,821	3.0%
12	36,382	5.8%	24	13,311	2.1%

이중 Subarea 구간의 통행량은 614,695(대)로서 전체 통행의 32(%)를 나타내었다. 버스전용차로와 ETCS 이용율은 각각 기종점 통행량의 10%와 30%를 설정하였다.

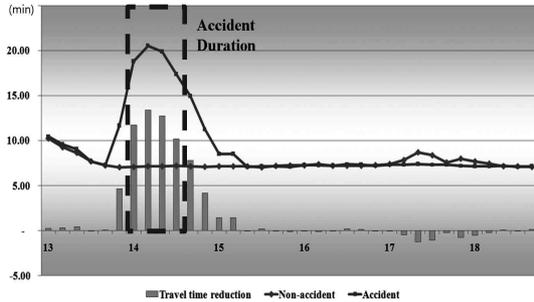
2. 모형 적용 및 결과 분석

구축된 모형의 적용 가능성 검증을 위하여 장애 발생할 수 있는 다양한 상황에 따른 시간대별 네트워크 분석을 실시하였다.

공급 측면에서는 경부선 ‘기흥영업소 - 수원영업소’ 구간의 차로 수 확장 시 ‘대전영업소 - 서울영업소’ 구간의 통행시간 분석을 통해 시간흐름에 따른 네트워크 상태분석을 실시하였으며, 평균 0.33(분)의 통행시간 단축을 나타내었으며, 6시 출발 차량의 경우, 5분의 감소를 나타내었다. 비침두시의 도로 확장으로 인한 통행시간 감소는 미미한 것으로 보이며, 시뮬레이션 수행으로 인한 오차의 영향이 더 크게 나타나 통행시간이 증가하기도



<그림 9> 도로확장 시 네트워크 상태 분석



<그림 10> 사고발생에 따른 시간대별 지체분석

하였다. 통행시간 분석결과 침두시의 영향이 비침두시의 영향보다 상대적으로 중요함을 알 수 있다. 현재 교통사업의 사업성 평가 및 우선순위 선정 등 다양한 교통계획은 일교통량 기준의 하루 평균 네트워크 정보를 통해 실시되고 있다. 본 연구의 결과를 통해 교통계획 분야의 합리성과 실용성 향상을 위하여 일교통량 수준의 거시적인 분석과 함께 시간대별 네트워크 특성을 고려한 교통정보 또한 함께 고려하여야 함을 알 수 있다.

14시부터 40분간 경부선 서울방향 '신갈JCT - 서울영업소' 사이에 사고발생을 가정하여 네트워크의 시간대별 변화를 분석하였다. '수원영업소 - 서울영업소' 구간의 정체를 시간대별로 분석한 결과 90분이 경과한 15시 30분까지 사고 영향으로 정체가 발생한 것으로 나타났으며, 14시 20분에 수원 영업소를 출발한 차량의 경우 13.4(분)의 통행시간 증가를 나타내어 가장 큰 증가를 나타내었다. 사고 발생 초기에 수원영업소를 통과한 차량의 통행시간 증가가 상대적으로 크게 나타났으며, 이는 향후 첨단 교통체계 및 스마트 하이웨이(SMART Highway) 체계의 양질의 서비스를 제공하기 위해서 교통사고의 초기 검지와 빠른 대응이 필요함을 역설하고 있다.

V. 결론

본 논문에서는 고속도로망을 대상으로 FTMS 자료를 활용한 동적 분석방법론을 개발하였으며, 동적 교통 분석의 필요성을 부각시키고자 한다. 본 연구에서는 시뮬레이션 연산시간 문제를 해결하기 위해 Subarea 분석을 접목하여 동적 교통 분석 방법론을 개발하였다.

전국 고속도로망을 대상으로 구축된 동적 O-D를 Subarea O-D로 전환하기 위한 방법론을 개발하였으며, 이를 활용하여 시간대별 네트워크의 상태분석 실험을 실시하였다. 모형의 적용성을 검증하기 위하여 공급

측면, 수요측면의 다양한 시나리오 분석을 수행하였다. 본 연구는 동적 교통 분석의 초기 시도라는 점과 실제 기종점 자료인 FTMS 자료를 활용한 분석이라는 점에서 의미가 있을 것으로 판단된다.

향후, 고속도로만이 아닌 기타 도로를 포함한 네트워크에 적용 가능한 동적 기종점 통행량 구축을 위한 연구가 이루어져야 할 것이며, 연산시간을 해결하기 위해 Hybrid 모형개발 및 동적 분석 프로그램 개발 등 다양한 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

교통시스템 서비스에 대한 이용요구 수준은 앞으로 점점 높아져 갈 것이다. 또한 동적 분석 모형은 첨단교통체계(ITS)의 이론적 지주가 될 것이며, 교통시스템의 계획 및 운영 시 교통시스템의 동적인 분석을 통한 정보생성은 현재의 분석과 서비스의 수준을 진일보하는 확실한 방법이다. 본 논문에서 제시한 동적 분석 모형을 기반으로 향후, 보다 과학적이고 실용적인 연구가 진행될 것으로 기대된다.

알림 : 본 논문은 대한교통학회 제60회 학술발표회(2009. 2.21)에서 발표된 내용을 수정·보완하여 작성된 것입니다.

참고문헌

1. 강진구·박진희·이영인·원계무·류시균 (2004), "예측적 다중계층 동적배분모형의 구축 및 알고리즘 개발", 대한교통학회지, 제22권 제5호, 대한교통학회, pp.123~137.
2. Adamo V., V. Astarita, M. Florian, M. Mahut, J. H. Wu (1999), "Modeling the Spill-Back Congestion in Link Based Dynamic Network Loading Models : A Simulation Model with Application", 14th International Symposium on Transportation and Traffic Theory, Elsevier.
3. Carey M. (1992), "Non-convexity of the Dynamic Traffic Assignment Problem", Transportation Research 26B.
4. Cooke K. L., E. Halsey(1996), "The Shortest Route Through a Network with Time-Dependent Internodal Transit Times", Journal of Math. Anal. Appl., vol. 14, pp.492~498.
5. Cremer M., D. Stacher, P. Unbaun(1999),

“Macroscopic Modeling of Traffic Flow by an Approach of Moving Segment”, Elsevier, 14th International Symposium on Transportation and Traffic Theory.

6. Friesz T. L., L. Terry(1993), “A Variational Inequality Formulation of the Dynamic Network User Equilibrium Problem”, Operation Research.

7. Kuwahara M. and T. Akamatsu(1997), “Decomposition of the Reactive Dynamic Assignment with Queues for a Many-to-many Origin-Destination Pattern”, Transportation Research 31B, pp.1~10.

8. Mahmassani H. S. (2001), “Dynamic Network Traffic Assignment and Simulation Methodology for Advanced System Management Application”, Networks and Spatial Economics, vol. 1, pp.267~292.

9. Ran B. and D. E. Boyce (1996), “Modeling Dynamic Transportation Network : An Intelligent Transportation System Oriented Approach”, 2th edition, Springer.

10. Ran B., R. W. Hall and D. E. Boyce (1996), “A Link-Based Variational Inequality Model for Dynamic Departure Time/Route Choice”, Transportation Research B, vol. 30.

✿ 주 작성자 : 유정훈
 ✿ 교신저자 : 이무영
 ✿ 논문투고일 : 2009. 2. 21
 ✿ 논문심사일 : 2009. 4. 23 (1차)
 2009. 9. 30 (2차)
 ✿ 심사관정일 : 2009. 9. 30
 ✿ 반론접수기한 : 2010. 4. 30
 ✿ 3인 익명 심사필
 ✿ 1인 abstract 교정필